

ضوابط و شرایط زلزله قائم در طراحی لرزه‌ای

خلاصه کاربردی براساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش پنجم — بندهای ۲-۵-۲، ۳-۵-۹، ۳-۱۹-۴ و ۵-۲-۱۰

کلید تصمیم: مؤلفه قائم هم برای کل سازه، هم برای اعضای حساس، اجزای غیرسازه‌ای و سازه‌های غیرساختنی حساس کنترل می‌شود.

۱ الزام کلی و نیروی قائم کل سازه

- ساختمان باید برای مؤلفه‌های افقی و قائم شتاب حرکت زمین کنترل شود.
- در تحلیل کل سازه، اثر مؤلفه قائم با نیروی زیر منظور می‌شود:

$$F_{vut} = 0.2 \text{ SDS WD}$$

- این نیرو باید جداگانه در دو جهت «رو به بالا» و «رو به پایین» اعمال گردد.
- SDS: شتاب طیفی طرح در تناوب کوتاه | WD: بارهای مرده و وزن اجرای ثابت و جداکننده‌ها

۳ اعضای حساس به مؤلفه قائم

اگر در ساختمان $S_s > 1.15$ یا $S_1 > 0.5$ باشد، اعضای زیر علاوه بر کنترل کل سازه باید جداگانه با نیروی قائم ویژه طراحی شوند:

- تیرهای با دهانه بیش از ۱۵ متر
- تیرهایی که تکیه‌گاه ستون هستند
- طره‌های با طول بیش از ۲ متر
- دال‌های بتنی تخت با دهانه بیش از ۱۰ متر

$$F_{vuc} = 0.65 \text{ SDS WD}$$

عکس‌العمل این ترکیب در طراحی اجزای که بار عضو را تحمل می‌کنند نیز منظور می‌شود.

۵ تحلیل تاریخچه زمانی و طیف ویژه

- در صورت نیاز به اعمال مؤلفه قائم شتاب‌نگاشت، مؤلفه قائم باید در مجموعه رکوردها وجود داشته باشد.
- مؤلفه‌های قائم رکوردها باید طوری اصلاح یا مقیاس شوند که میانگین طیف آن‌ها در بازه لازم کمتر از طیف قائم هدف نباشد.
- برای ساختمان‌های حوزه نزدیک، در صورت نیاز مؤلفه قائم با روابط تجربی مناسب برآورد می‌شود.
- طیف قائم ویژه ساختمان با روابط تخمین جنش زمین یا تبدیل طیف افقی با ضرایب مناسب قابل تهیه است.

۲ طیف طرح قائم استاندارد

در غیاب مطالعات ویژه ساختمان و در صورت نیاز به طیف قائم، براساس زمان تناوب قائم TV محاسبه می‌شود.

$Sav = 0.65 C_v (Sa/Fmd)$	$T_v \leq 0.025 \text{ s}$
$Sav = 16 C_v (Sa/Fmd)(T_v - 0.025) + 0.65 C_v (Sa/Fmd)$	$0.025 < T_v \leq 0.05$
$Sav = 1.05 C_v (Sa/Fmd)$	$0.05 < T_v \leq 0.10$
$Sav = 1.05 C_v (Sa/Fmd)(0.1/T_v)^{0.5}$	$0.10 < T_v \leq 2.0$
$Sav = 0.5 (Sa/Fmd)$	$T_v > 2.0$

توضیح: طیف قائم ویژه ساختمان مجاز است، ولی نباید از ۸۰٪ طیف قائم استاندارد کمتر باشد؛ طیف قائم MCE

۴ ترکیب با نیروی افقی و سایر بارها

$$E = E_h + E_v, \quad E = E_h - E_v$$

برای حالت‌های تشدید یافته، نیروی افقی در Ω_0 ضرب می‌شود، اما E_v مشمول ضریب اضافه مقاومت نیست:

$$E = \Omega_0 E_h + E_v, \quad E = \Omega_0 E_h - E_v$$

- فقط با بارهای ثقلی ترکیب می‌شود و نیاز به ترکیب با E_h ندارد.
- در طراحی پی، در فصل مشترک خاک و سازه، منظور کردن E_v رو به بالا ضروری نیست.
- در روش ساده‌شده نیز اثر نیروی قائم طبق بند ۴-۵-۹-۴ وارد طراحی می‌شود.

۶ اجزاء غیرسازه‌ای و تکیه‌گاه‌ها

$$FPV = 0.2 \text{ SDS IP WP}$$

$$F = FP \pm FPV$$

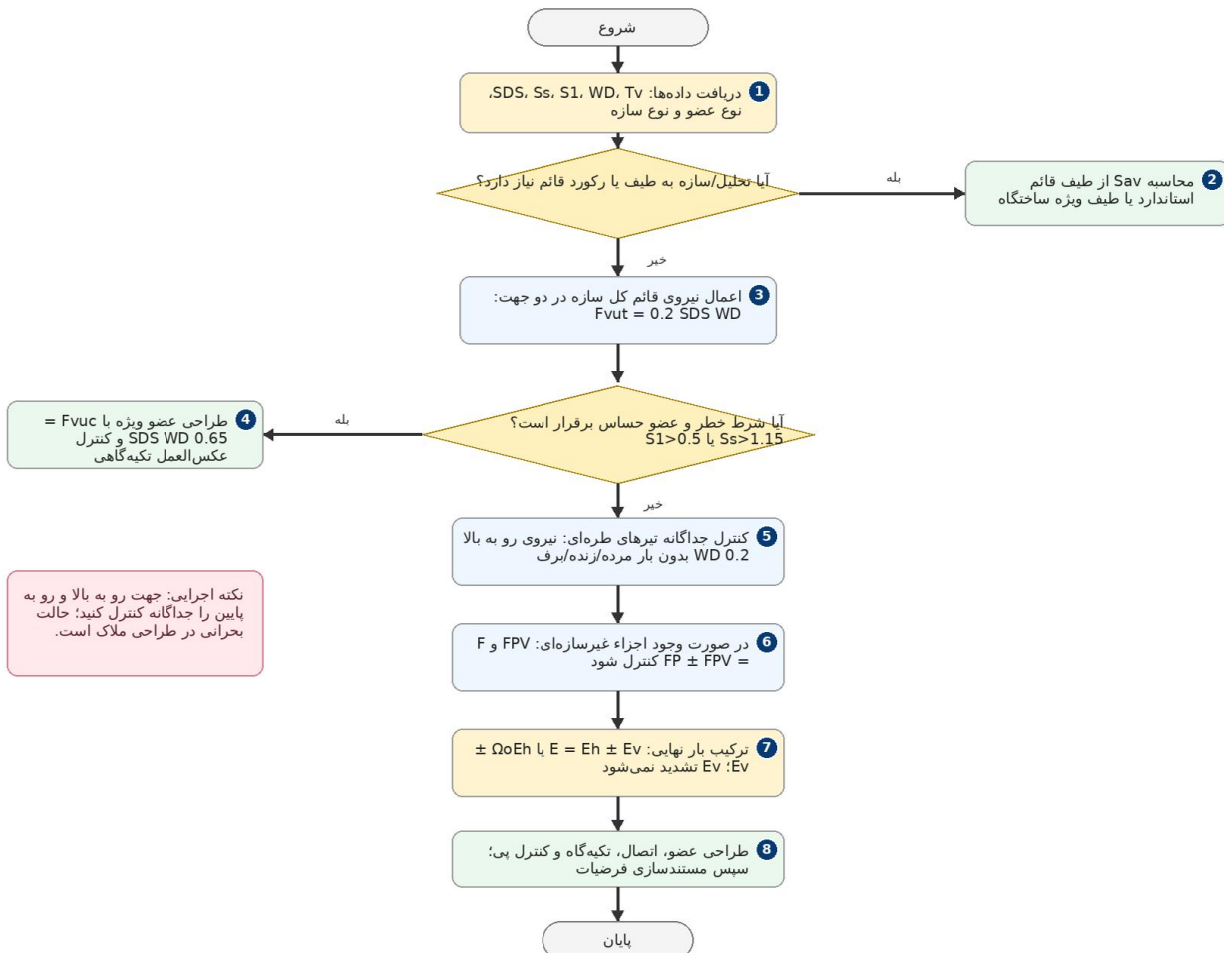
برای نما، اجزای روی طره، دیوارهای شیبدار و اجزای آویزان از سقف، یک کنترل جداگانه قائم لازم است:

$$FPV = 0.65 \text{ SDS IP WP}$$

۷ سازه‌های غیرساختنی حساس به حرکت قائم

برای مخازن، سازه‌های آویزان و سازه‌های با طره افقی، حرکت لرزه‌ای قائم باید با طیف بند ۲-۵-۲ تعیین شود و نیروهای طراحی اعضا و اتصالات با تحلیل طیفی یا تاریخچه زمانی محاسبه گردد؛ استفاده از روش استاتیکی معادل همراه مؤلفه قائم نیز به عنوان روش جایگزین مجاز است.

فلوچارت کنترل ضوابط زلزله قائم



محاسبه و کنترل دررفت و جابجایی در سازه و درز انقطاع (ویرایش پنچ آیین نامه 2800)

مطابق فصل ۳، بندهای ۹-۹، ۸-۱۲-۳ تا ۷-۱۲-۳ و بند ۵-۱۲-۸ آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۳۸۰۰ - ویرایش پنچ)

(1) محاسبه تغییر مکان جانبی نسبی غیر ارتجاعی طبقه (ΔM)

- تغییر مکان جانبی نسبی غیر ارتجاعی هر طبقه تحت اثر زلزله طرح، ΔM، باید در هر امتداد به صورت ترکیبی محاسبه شود:

الف - در امتداد X:

$$\Delta M(X) = 1.0 \times (I_e / C_{dx})_x + 0.30 \times (I_e / C_{dy})_y$$

- تغییر مکان جانبی نسبی ارتجاعی امتداد X ناشی از نیروی زلزله X [امتداد X]:
- تغییر مکان جانبی نسبی ارتجاعی امتداد Y ناشی از نیروی زلزله Y (I_e/C_{dy})_y:

ب - در امتداد Y:

$$\Delta M(Y) = 1.0 \times (I_e / C_{dy})_y + 0.30 \times (I_e / C_{dx})_x$$

- تغییر مکان جانبی نسبی ارتجاعی امتداد Y ناشی از نیروی زلزله Y (I_e/C_{dx})_x:
- تغییر مکان جانبی نسبی ارتجاعی امتداد X ناشی از نیروی زلزله X (I_e/C_{dy})_y:

- C_{dy} و C_{dx} به ترتیب، ضریب بزرگنمایی تغییر مکان جانبی سیستم مقاوم لرزه ای در امتداد X و Y هستند (مطابق جدول ۲-۲).

(6) محاسبه عرض درز انقطاع بین ساختمان ها

- در ساختمان های با اهمیت "خیلی زیاد" و "زیاد" با هر تعداد طبقه و در سایر ساختمان ها در صورتی که:
 - بیش از 5 طبقه باشند
 - با بلندتر از 18 متر از تراز پایه باشند
- حداقل عرض درز انقطاع بین ساختمان و ساختمان مجاور در هر طبقه باید برابر جذر مجموع مربعات δ_M دو ساختمان در نظر گرفته شود.

$$w_{min} = \sqrt{\delta_{M,1}^2 + \delta_{M,2}^2}$$

که در آن:

δ_{M,1}، δ_{M,2}: مقادیر δ_M دو ساختمان مجاور در همان تراز

نکات مهم:

- δ_M در برای هر ساختمان از رابطه (۳-۲۰) به دست می آید.
- درز انقطاع باید در کلیه طبقات (از بی تا بام) تأمین شود.
- در موارد استفاده از روش تحلیل دینامیکی، ملاک محاسبه درز انقطاع تعداد و ارتفاع و ارتفاع سیستم فوقانی است (تبصره ۲ بند ۲-۱۲).
- در ساختمان هایی که مشمول محاسبه درز انقطاع نیستند، عرض درز طبق بند طبق بند ۱-۵ تا ۱-۶ تعیین می شود (تبصره ۴ بند ۲-۱۲).

(۷) المان های رابط بین ساختمان ها (بند ۳-۱۲-۸)

- اعضای رابط و اجزای ارتباطی نباید قبل از اعضای اصلی سازه تسلیم شوند.
- استفاده از اعضای اعطاف پذیر در صورت نیاز توصیه می شود.
- برای ساختمان های با اهمیت خیلی زیاد، طول اعضای رابط نباید از حد مجاز δ-δ-۸ جدول بیشتر باشد.

(2) کنترل تغییر مکان نسبی طبقه (دررفت)

مقادیر ΔM محاسبه شده در هر امتداد نباید از مقدار مجاز Δa (جدول ۵-۵) بیشتر شود. h: ارتفاع طبقه مورد نظر.

Δa (حداکثر)	نوع سازه
0.020 h	سازه های قاب خمشی، دوگانه، دیواری، فولادی
0.015 h	سازه های با دیوار غیرسازه ای مصالح بنایی مسلح با غیرمسلح
0.010 h	سازه های با دیوار برشی بتن آرمه
مطابق ۱۲-۳-۲	سازه های دارای سیستم ایزوله (فوقانی)
مطابق ۵-۲-۵	سایر حالات خاص

(3) محاسبه تغییر مکان جانبی کلی غیر ارتجاعی (δM)

- در سازه های بتن آرمه باید اثر ترک خوردگی اجزاء در سختی آن ها مطابق با مبعت نهم نهم مقررات ملی ساختمان در نظر گرفته شود.

(4) محاسبه δM

δM از رابطه (۳-۲۰) محاسبه می شود:

$$\delta_M = C_{eu} \times \delta_e$$

در رابطه فوق:

- δ_e: حداکثر تغییر مکان جانبی کلی ارتجاعی در محل بحرانی طبقه تحت زلزله طرح (با احتساب آثار Δ-P و بر اساس یکی از روش های تحلیل خطی)
- ضریب بزرگنمایی برای لحاظ نمودن رفتار غیرارتجاعی سازه C_{eu}
- مقادیر C_{eu} طبق جدول ۳-۱ تعیین می شود.

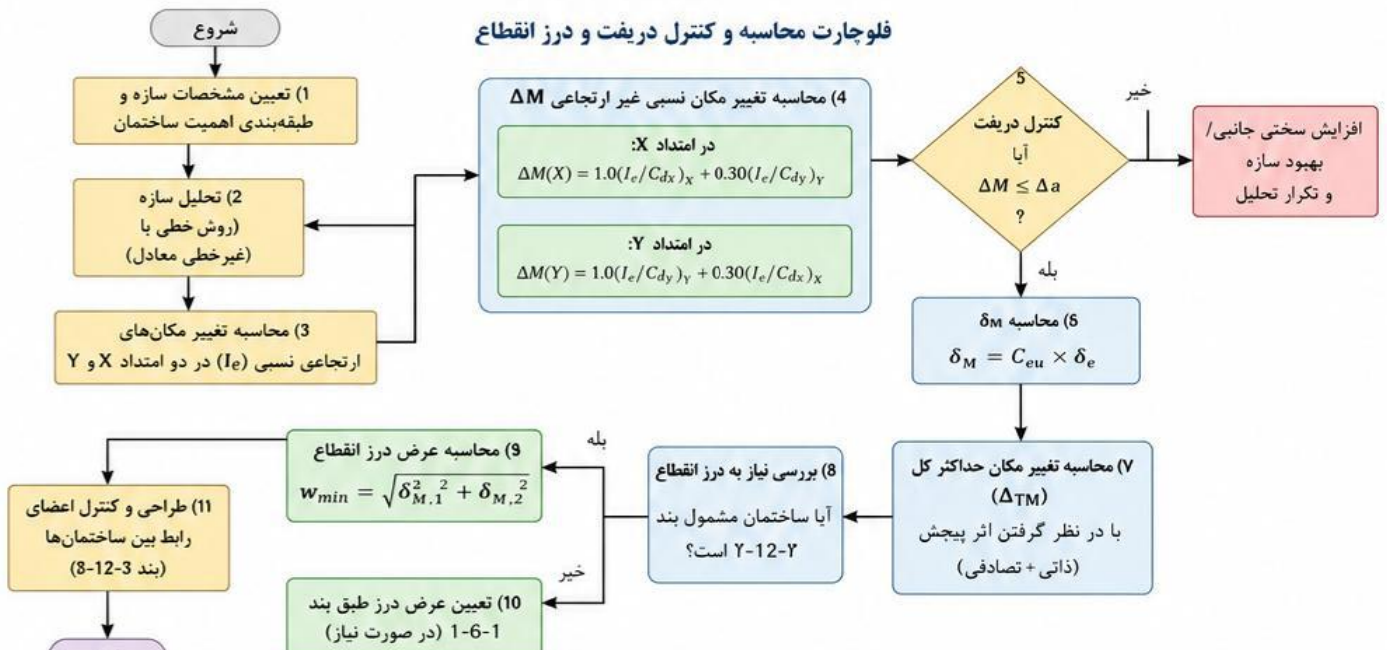
(5) کنترل تغییر مکان حداکثر کل (ΔTM)

- بیشترین تغییر مکان جانبی با در نظر گرفتن اثر پیچش (ذاتی و تصادفی) برای موارد زیر زیر تعیین می شود:

- بررسی پایداری سامانه جداساز یا اجزاء آن
- تعیین درز انقطاع بین ساختمان ها
- انجام آزمایش بار قائم بر روی نمونه های اولیه جداسازها

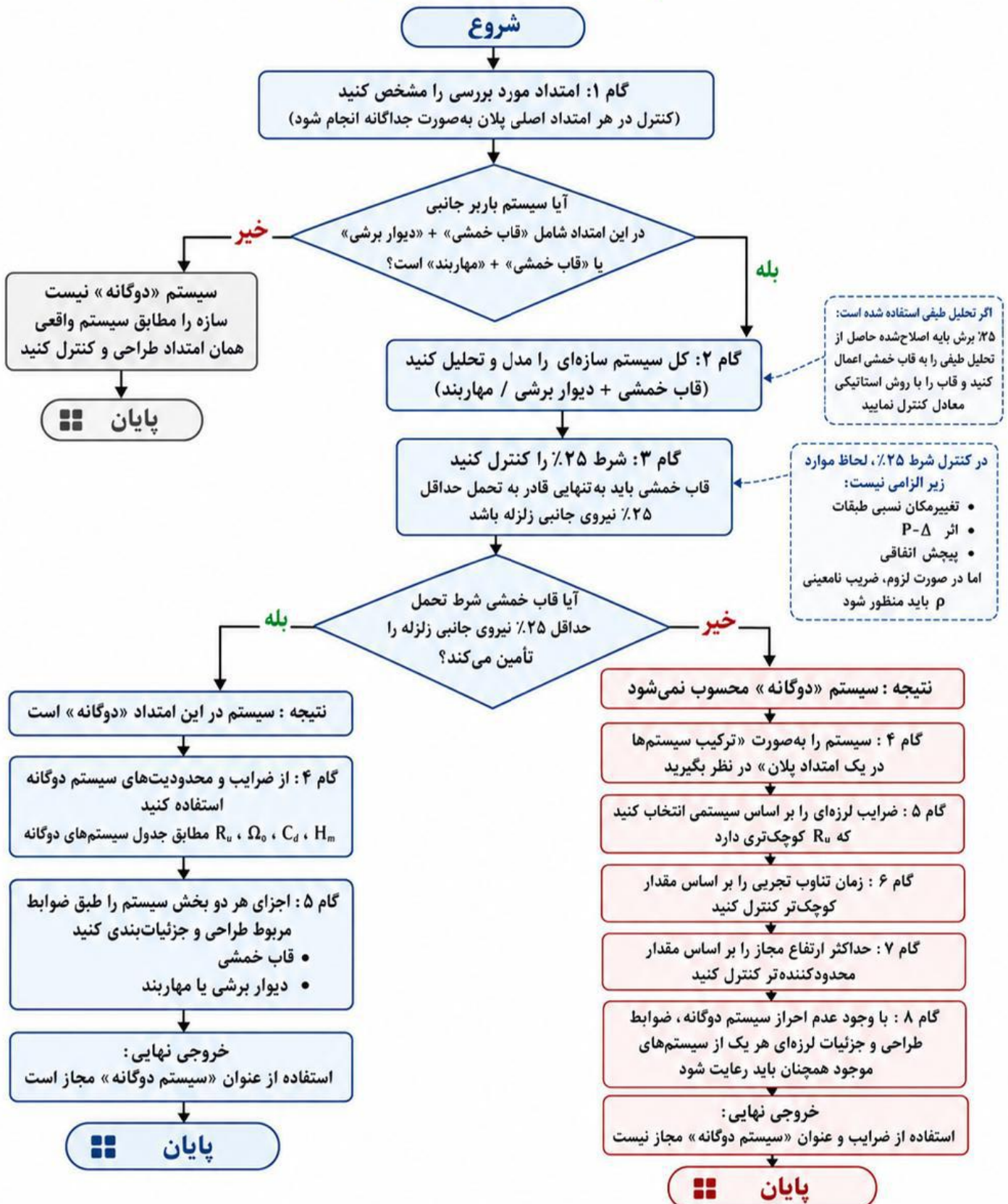
ΔTM باید به صورت جداگانه با استفاده از مشخصه های رفتاری کران بالا و حد پایین پایین محاسبه شود.

فلوجارت محاسبه و کنترل دررفت و درز انقطاع



فلوچارت عملیاتی کنترل «سیستم دوگانه» بر اساس ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰

راهنمای گام به گام برای طراحان سازه



اگر تحلیل طبق استفاده شده است:
۲۵٪ برش بایه اصلاح شده حاصل از
تحلیل طبقی را به قاب خمشی اعمال
کنید و قاب را با روش استاتیکی
معادل کنترل نمایید

در کنترل شرط ۲۵٪، لحاظ موارد
زیر الزامی نیست:
• تغییر مکان نسبی طبقات
• اثر $P-\Delta$
• پیچش انقراضی
اما در صورت لزوم، ضریب نامعینی
 p باید منظور شود

جمع‌بندی کلیدی

ملاک اصلی احراز سیستم دوگانه در ویرایش پنجم: توان قاب خمشی برای تحمل حداقل ۲۵٪ نیروی جانبی زلزله در هر امتداد اصلی پلان



شرایط و نکات استفاده از قاب خمشی متوسط

بر اساس استاندارد 2800، ویرایش پنجم — جدول 3-1 و یادداشت‌های [4] تا [6]

1) قاب خمشی متوسط در چه حالت‌هایی قابل استفاده است؟

- به صورت «سیستم قاب خمشی»
- به صورت «سیستم دوگانه» همراه با دیوار برشی ویژه
- یا قاب مهاربندی شده همگرای ویژه
- رعایت ضوابط مصالح و جزئیات اجرایی متناظر الزامی است.

2) پارامترها در سیستم قاب خمشی

نوع سیستم	R_u	Ω_o	C_d	H_m در SDC-1	H_m در SDC-2	H_m در SDC-3
قاب خمشی بتن آرمه متوسط	4.5	3	4.5	21 m	18 m	غیرمجاز
قاب خمشی فولادی متوسط	4.5	3	4.5	28 m	21 m	غیرمجاز*

* در SDC-3 فقط مطابق یادداشت [6]

3) پارامترها در سیستم دوگانه

نوع سیستم	R_u	Ω_o	C_d	H_m در SDC-1	H_m در SDC-2	H_m در SDC-3
قاب خمشی متوسط (فولادی یا بتنی) + دیوار برشی بتن آرمه ویژه	6	2.5	5	50 m	35 m	21 m
قاب خمشی فولادی متوسط + قاب مهاربندی شده همگرای فولادی ویژه	6	2.5	5	50 m	35 m	21 m
قاب خمشی متوسط (فولادی یا بتنی) + قاب مهاربندی شده همگرای مختلط ویژه	5	2.5	4.5	35 m	28 m	15 m

4) نکات خاص قاب خمشی بتن آرمه متوسط

- در گروه طراحی لرزه‌ای 2، علاوه بر ضوابط میجت نهم، در هر اتصال باید مجموع ظرفیت خمشی اسمی ستون‌ها در بالا و پایین اتصال $\geq$ مجموع ظرفیت خمشی اسمی تیرها در دو سمت اتصال باشد.
- حداقل بعد ستون: 300 میلی‌متر
- حداکثر فاصله تنگ‌ها در نواحی بحرانی:
 $\leq \min(6d_b, 150 \text{ mm})$
- و لازم نیست کمتر از 125 mm باشد.

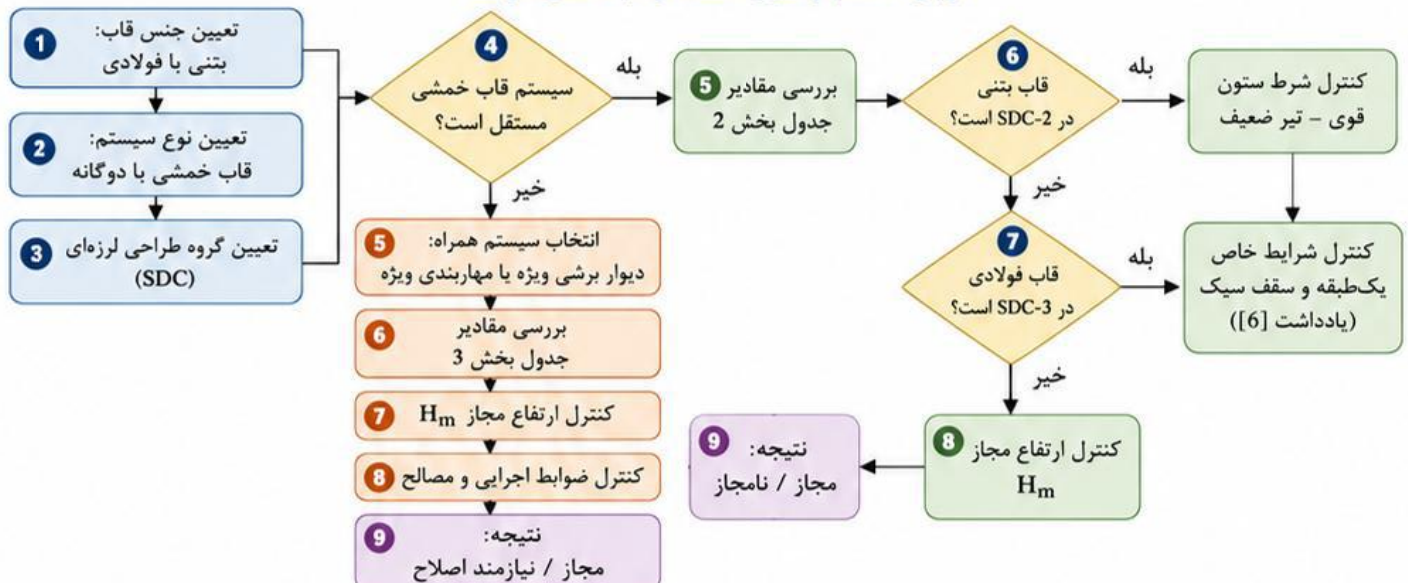
5) نکات خاص قاب خمشی فولادی متوسط

- در گروه طراحی لرزه‌ای 3، استفاده فقط تا ارتفاع 15 متر از تراز پایه مجاز است؛ مشروط بر اینکه:
- سیستم سازه‌ای یک‌طبقه باشد
- بار مرده بام کمتر از 1 kN/m^2 باشد.
- وزن واحد سطح دیوارهای پیرامونی با ارتفاع بیش از 10.5 متر از تراز پایه، کمتر از 1 kN/m^2 باشد

6) جمع‌بندی سریع

- اگر قاب خمشی متوسط به صورت سیستم مستقل انتخاب شود، در SDC-3 به طور معمول مجاز نیست.
- برای SDC بالاتر یا ارتفاع بیشتر، استفاده از سیستم دوگانه گزینه مناسب‌تری است.
- پیش از نهایی کردن طرح، H_m ، ضرایب R_u و Ω_o و C_d و نیز ضوابط جزئیات اجرایی کنترل شوند.

فلوجارت انتخاب و کنترل استفاده از قاب خمشی متوسط



منبع: استاندارد 2800 (ویرایش پنجم)، جدول 3-1 و یادداشت‌های مربوط

شرایط و نکات استفاده از سیستم قاب خمشی متوسط + دیوار برشی ویژه

بر اساس استاندارد 2800، ویرایش پنجم — جدول 3-1 و یادداشت‌های [4] و [5]

1) این سیستم در چه حالتی قابل استفاده است؟

- به صورت «سیستم دوگانه»
- شامل: «قاب خمشی متوسط (فولادی یا بتنی) + دیوار برشی بتن‌آرمه ویژه»
- رعایت همزمان ضوابط قاب خمشی متوسط و دیوار برشی ویژه الزامی است.
- برای انتخاب نهایی، کنترل ارتفاع مجاز و جزئیات اجرایی الزامی است.

(2) پارامترهای لرزه‌ای سیستم

نوع سیستم	R_u	Ω_o	C_d	H_m در SDC-1	H_m در SDC-2	H_m در SDC-3
قاب خمشی متوسط (فولادی یا بتنی) + دیوار برشی بتن‌آرمه ویژه	6	2.5	5	50 m	35 m	21 m

3) نکات مهم برای قاب خمشی متوسط بتن‌آرمه [4]

- در گروه طراحی لرزه‌ای ۲، علاوه بر ضوابط مثبت نهم مقررات ملی ساختمان، در هر اتصال باید مجموع ظرفیت خمشی اسمی ستون‌ها در بالا و پایین اتصال، بزرگ‌تر یا برابر مجموع ظرفیت خمشی اسمی تیرها در دو سمت اتصال باشد.

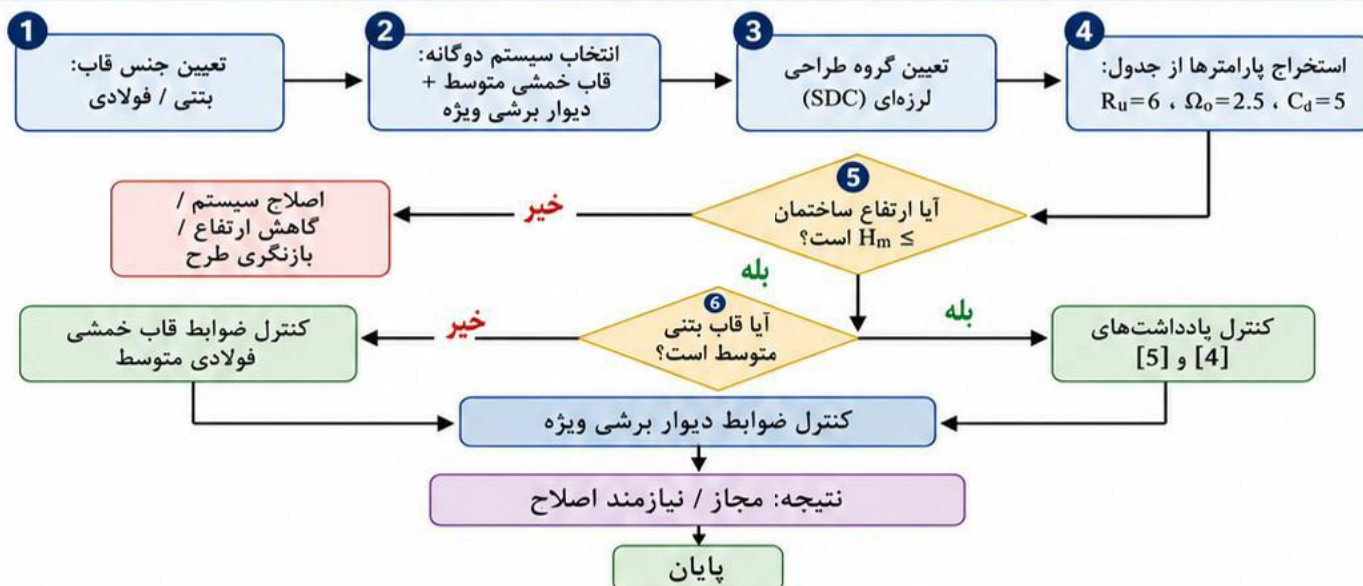
4) نکات اجرایی قاب خمشی بتن‌آرمه متوسط [5]

- حداقل بعد ستون: 300 میلی‌متر
- حداکثر فاصله تنگ‌ها در نواحی بحرانی باید کمتر از $\min(6db, 150 \text{ mm})$ باشد.
- لازم نیست این فاصله کمتر از 125 میلی‌متر باشد.

5) جمع‌بندی و کنترل‌های اصلی

- این آرایش فقط به صورت سیستم دوگانه مجاز است.
- پیش از نهایی کردن طرح، مقادیر H_m ، R_u ، Ω_o و C_d کنترل شوند.
- اگر قاب از نوع بتن‌آرمه متوسط باشد، الزامات یادداشت‌های [4] و [5] رعایت شود.
- اگر قاب از نوع فولادی متوسط باشد، جزئیات و اتصالات متناظر سیستم متوسط فولادی رعایت شود.
- ضوابط دیوار برشی ویژه، از جمله جزئیات شکل‌پذیری، باید کنترل شود.

فلوچارت انتخاب و کنترل سیستم قاب خمشی متوسط + دیوار برشی ویژه



منبع: استاندارد 2800 (ویرایش پنجم)، جدول 3-1 و یادداشت‌های [4] و [5]

انواع ضوابط ویژه ساختمان‌های با اهمیت زیاد

بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش پنجم — بندهای ۱-۱، ۱-۴، ۷-۷، ۲-۱، ۸-۱، ۷-۱۳، ۴-۱۷، ۴-۱۴ و ۴-۵

1 تعریف، مصادیق و ضریب اهمیت

- گروه ۲: ساختمان‌های با اهمیت زیاد
- ساختمان‌هایی که خرابی آن‌ها موجب تلفات زیاد می‌شود: مدارس، مساجد، استادیوم‌ها، سینما و تئاترها، سالن‌های اجتماعات، فروشگاه‌های بزرگ، ترمینال‌های مسافری
- ساختمان‌های بلند: ارتفاع بیش از ۵۰ متر یا بیش از ۱۵ طبقه از تراز پایه
- فضاهای سرپوشیده یکپارچه با تجمع بیش از ۳۰۰ نفر زیر یک سقف
- ساختمان‌هایی که خرابی آن‌ها موجب از دست رفتن ثروت ملی می‌شود: موزه‌ها، کتابخانه‌ها، مراکز نگهداری اسناد و آثار ارزشمند
- تأسیسات صنعتی که خرابی آن‌ها موجب آلودگی محیط زیست یا آتش‌سوزی وسیع می‌شود: پالایشگاه‌ها و انبارهای سوخت

$$I_e = 1.2 \text{ ضریب اهمیت ساختمان}$$

2 اهداف عملکردی

- در زلزله طرح: علاوه بر تأمین ایمنی جانی، نباید آسیب عمده سازه‌ای و غیرسازه‌ای رخ دهد.
- در زلزله بیشینه مورد نظر (MCE): احتمال فروریزش باید بسیار کم باشد.
- در زلزله سطح بهره‌برداری: ساختمان باید قابلیت بهره‌برداری خود را حفظ کند.
- این الزام برای ساختمان‌های با اهمیت زیاد و خیلی زیاد و نیز ساختمان‌های بلندتر از ۵۰ متر یا بیشتر از ۱۵ طبقه اهمیت ویژه دارد.

3 الزامات لرزه‌ای و گروه طراحی

گروه طراحی لرزه‌ای برای اهمیت زیاد	شرایط
SDC-2	$I_e \cdot S_{DS} \leq 0.75$ و $I_e \cdot S_{D1} \leq 0.40$
SDC-2	$I_e \cdot S_{DS} > 0.75$ یا $I_e \cdot S_{D1} > 0.40$ و $I_e \cdot S_1 \leq 0.6$
SDC-3	$I_e \cdot S_1 > 0.6$

- برای ساختمان‌های با اهمیت زیاد، حداقل سطح کنترل طراحی از ساختمان‌های معمولی سخت‌گیرانه‌تر است.
- تعیین SDC باید طبق جدول ۲-۶ انجام شود.

4 موارد ویژه طیف ساختگاه و تحلیل

- استفاده از طیف ویژه ساختگاه در همه ساختمان‌ها مجاز است.
- برای ساختمان‌های با اهمیت زیاد که بر روی زمین‌های غیر از نوع I تا III ساخته می‌شوند و طبق بند ۸-۳ مشمول تحلیل دینامیکی هستند، استفاده از طیف ویژه ساختگاه الزامی است.
- در ساختگاه‌های خاص با نیازمند مطالعات ویژه ژئوتکنیکی نیز طیف ویژه ساختگاه باید تهیه شود.
- نتایج باید در قالب گزارش فنی قابل ارزیابی و داوری مستقل ارائه شود.

5 درز انقطاع و کنترل تغییرمکان

- برای ساختمان‌های با اهمیت زیاد، با هر تعداد طبقه، عرض درز انقطاع ساده $\delta_h \geq 0.005$ کافی نیست و باید طبق بند ۷-۱۲-۳ تعیین شود.
- حداقل عرض درز انقطاع بین دو ساختمان در هر طبقه:

$$w_{min} = \sqrt{\delta_{M,1}^2 + \delta_{M,2}^2}$$

جابجایی غیرارتجاعی هر ساختمان:

$$\delta_M = \left(\frac{C_d}{I_e} \right) \times \delta_{eu}$$

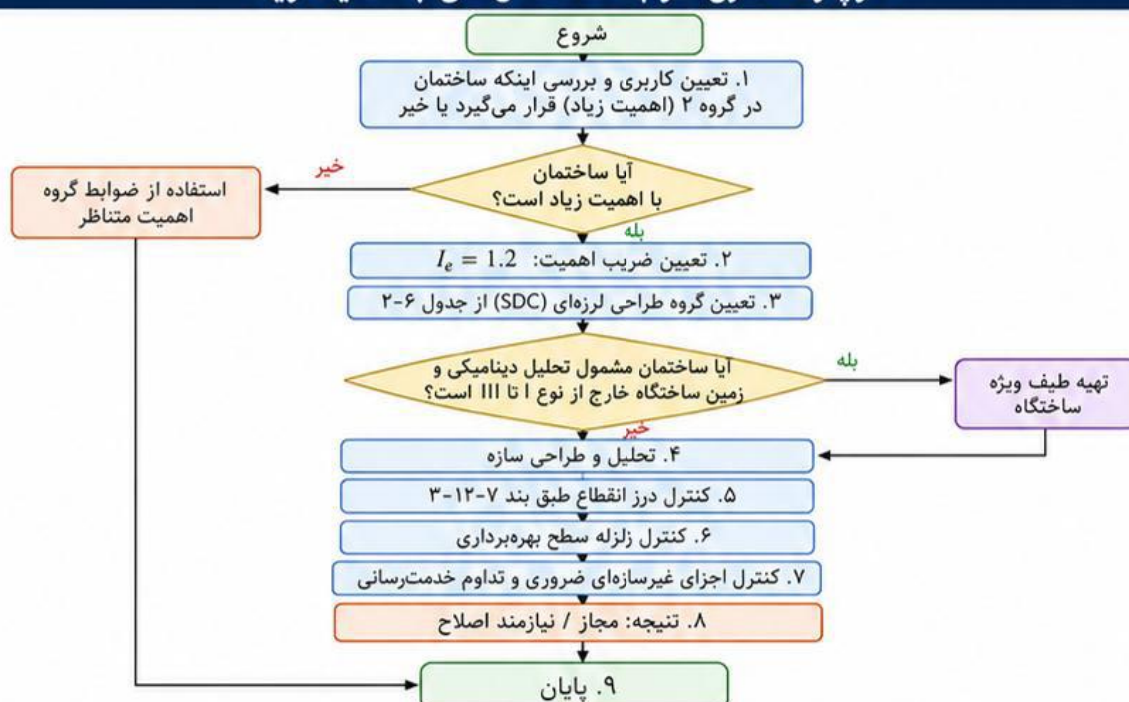
- در ساختمان‌های دارای نامنظمی پیچشی، اثر ضریب تشدید پیچش اتفاق نیز در جابجایی لحاظ شود.

6 کنترل سطح بهره‌برداری و اجزای غیرسازه‌ای

- ساختمان باید برای زلزله سطح بهره‌برداری کنترل شود تا پس از زلزله قابل استفاده بماند.
- در سازه‌های فولادی، تلاش‌های ایجادشده نباید از مقاومت اسمی بدون اعمال ضرایب اطمینان تجاوز کند.
- در سازه‌های بتن‌آرمه، تلاش‌های ایجادشده نباید از مقاومت نهایی اسمی بدون اعمال ضرایب کاهش مقاومت تجاوز کند.
- اجزای غیرسازه‌ای ضروری که برای بهره‌برداری ساختمان لازم هستند باید کارایی و خدمت‌رسانی خود را حفظ کنند.
- برای اجزای لازم جهت خدمت‌رسانی بی‌وقفه، ضریب اهمیت جزء می‌تواند باشد.

$$I_p = 1.4$$

فلوچارت کنترل ضوابط ساختمان‌های با اهمیت زیاد



شرایط و نکات استفاده از قاب خمشی ویژه

بر اساس استاندارد 2800، ویرایش پنجم — جدول 3-1 و یادداشت [1]

1 قاب خمشی ویژه در چه حالت‌هایی قابل استفاده است؟

- به صورت «سیستم قاب خمشی»
- به صورت «سیستم دوگانه»
- برای ساختمان‌های بتن آرمه، فولادی و برخی سیستم‌های مختلط
- با رعایت ضوابط ویژه طراحی و جزئیات اجرایی متناظر

پارامترها در سیستم قاب خمشی

نوع سیستم	R_u	Ω_o	C_d	H_m در SDC-1	H_m در SDC-2	H_m در SDC-3
قاب خمشی بتن آرمه ویژه	6.5	3	5.5	100 m	70 m	50 m
قاب خمشی فولادی ویژه	6.5	3	5.5	120 m	100 m	80 m
قاب خمشی خرابایی فولادی ویژه	6	3	5	50 m	35 m	35 m
قاب خمشی مختلط ویژه	6.5	3	5.5	120 m	100 m	70 m

3 پارامترها در سیستم دوگانه با قاب خمشی ویژه

نوع سیستم	R_u	Ω_o	C_d	H_m در SDC-1	H_m در SDC-2	H_m در SDC-3
قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + دیوار برشی بتن آرمه همبند شکل‌پذیر	7.5	3	7.5	200 m	200 m	200 m
قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + دیوار برشی بتن آرمه ویژه	7	2.5	5.5	200 m	200 m	200 m
قاب خمشی فولادی ویژه + قاب مهاربندی شده همگرای فولادی ویژه	7	2.5	5.5	200 m	200 m	200 m
قاب خمشی فولادی ویژه + قاب مهاربندی شده واگرای فولادی با تیر پیوند برشی	7.5	2.5	4	200 m	200 m	200 m
قاب خمشی فولادی ویژه + قاب مهاربندی شده کمانش تاب	7	2.5	5	200 m	200 m	200 m
قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + دیوار برشی مختلط ویژه	7	2.5	6	200 m	200 m	200 m

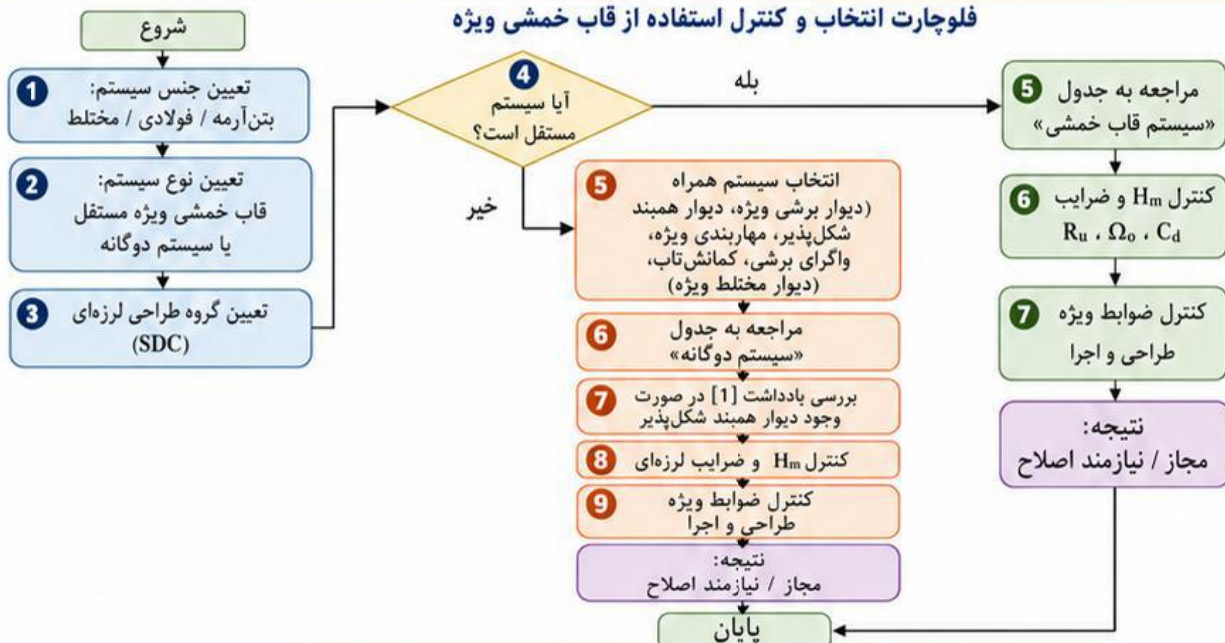
4 نکته مهم یادداشت [1]

اگر سیستم مقاوم لرزه‌ای از نوع دیوار برشی بتن آرمه همبند شکل‌پذیر یا قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) توأم با دیوار برشی بتن آرمه همبند شکل‌پذیر باشد و ارتفاع ساختمان از روی تراز پایه کمتر از ۱۸ متر باشد، پارامترهای لرزه‌ای دیوار برشی بتن آرمه همبند شکل‌پذیر می‌تواند مشابه پارامترهای لرزه‌ای دیوار برشی بتن آرمه ویژه در نظر گرفته شود.

5 نکات اجرایی و جمع‌بندی سریع

- قاب خمشی ویژه آزادترین و پُرکاربردترین نوع قاب خمشی برای ارتفاع‌های بیشتر است.
- در حالت مستقل، قبل از انتخاب نهایی باید H_m ، ضرایب R_u ، Ω_o و C_d کنترل شوند.
- برای ارتفاع‌های زیاد یا نیاز به سختی بیشتر، سیستم دوگانه گزینه مناسب‌تری است.
- ضوابط ویژه شکل‌پذیری و جزئیات اجرایی باید مطابق مقررات متناظر رعایت شوند.

فلوچارت انتخاب و کنترل استفاده از قاب خمشی ویژه



منبع: استاندارد 2800 (ویرایش پنجم)، جدول 3-1 و یادداشت [1]

نحوه مواجهه با انواع نامنظمی‌های پیچشی

بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش پنجم - بندهای ۳-۱۶، ۳-۳۳، ۳-۹، ۳-۱۵، ۳-۱۲

۱ تعریف و تشخیص نامنظمی پیچشی

- نامنظمی پیچشی فقط در ساختمان‌هایی با دیافراگم صلب یا نیمه‌صلب موضوعیت دارد.
- نسبت نامنظمی پیچشی TIR در هر امتداد برابر است با:

$$TIR = \frac{\text{بیشینه تغییرمکان نسبی در یکی از محورهای پیرامونی طبقه}}{\text{متوسط تغییرمکان نسبی دو محور پیرامونی همان طبقه}}$$

- TIR بر مبنای روش تحلیل استاتیکی معادل، با احتساب پیچش تصادفی و با فرض $A_j = 1.0$ محاسبه می‌شود.

اگر $TIR > 1.2 \rightarrow$ نامنظمی پیچشی زیاد

$TIR > 1.4 \rightarrow$ نامنظمی پیچشی شدید

حدود تشخیص نامنظمی پیچشی (بر اساس TIR)	
وضعیت	محدوده TIR
فاقد نامنظمی پیچشی	$TIR \leq 1.2$
نامنظمی پیچشی زیاد	$1.2 < TIR \leq 1.4$
نامنظمی پیچشی شدید	$TIR > 1.4$

۲ الزامات عمومی مواجهه

- در گروه طراحی لرزه‌ای ۳، اثر پیچش اتفاقی برای همه ساختمان‌ها باید منظور شود.
- در گروه‌های طراحی لرزه‌ای ۱ و ۲، اثر پیچش اتفاقی برای ساختمان‌های دارای نامنظمی پیچشی زیاد و شدید الزامی است.
- برای ساختمان‌های مشمول نامنظمی پیچشی، اثر پیچش اتفاقی طبقه در روش استاتیکی معادل باید با ضریب تشدید A_j افزایش یابد.

$$A_j = \left(\frac{\delta_{\max}}{1.2 \delta_{\text{avg}}} \right)^2 ; 1 \leq A_j \leq 3$$

$\delta_{\max}$ = حداکثر تغییرمکان جانبی کلی طبقه

δ_{avg} = متوسط تغییرمکان جانبی کلی دو انتهای ساختمان در همان طبقه

۳ محدودیت‌ها و ممنوعیت‌ها

⚠️ احداث ساختمان دارای نامنظمی پیچشی شدید در گروه طراحی لرزه‌ای ۳ مجاز نیست.

- ساختمان‌های دارای بیش از ۱۵ طبقه با ارتفاع بیش از ۵۰ متر از تراز پایه، اگر دارای نامنظمی پیچشی شدید باشند، مشمول روش استاتیکی معادل نیستند.

- در ساختمان‌های دارای نامنظمی پیچشی شدید، امتدادهای مؤثر باید مشمول ضریب نامعینی p شوند.

۴ تحلیل و اعمال پیچش اتفاقی

روش	نکته مواجهه
تحلیل استاتیکی معادل	اعمال پیچش اتفاقی + استفاده از A_j برای ساختمان‌های دارای نامنظمی پیچشی
تحلیل دینامیکی طیفی	اثر پیچش ذاتی و اتفاقی باید منظور شود؛ می‌توان اثر پیچش اتفاقی را به صورت پارگذاری استاتیکی اضافه کرد.
جایجا کردن مرکز جرم در تحلیل طیفی	به‌جای روش فیل مجاز است؛ ولی اگر $TIR > 1.6$ باشد این روش مجاز نیست.
تحلیل تاریخچه زمانی	اثر پیچش ذاتی و اتفاقی باید در مدل و تحلیل لحاظ شود.

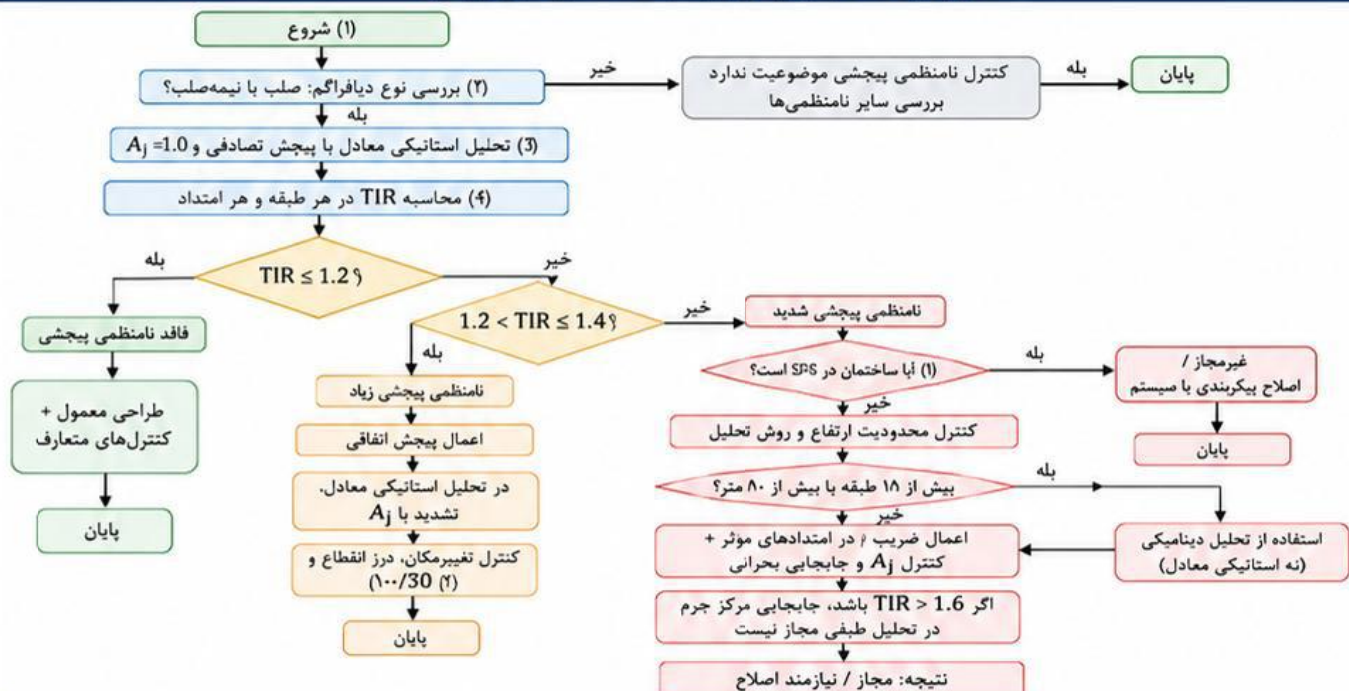
۵ کنترل‌های طراحی مرتبط

- برای ساختمان‌های دارای نامنظمی پیچشی زیاد و شدید، در کنترل تغییرمکان نسبی طبقات باید بیشترین مقدار در محل بحرانی طبقه ملاک باشد.
- در محاسبه δ_M و درز انقطاع، اگر سازه دارای نامنظمی پیچشی باشد، اثر A_j نیز باید در تغییرمکان لحاظ شود.
- برای سازه و شالوده ساختمان‌های دارای نامنظمی پیچشی زیاد و شدید، ترکیب اثر ۱۰۰ درصد نیروی زلزله در یک امتداد با ۳۰ درصد در امتداد عمود بر آن باید رعایت شود.

۶ جمع‌بندی سریع

- ابتدا نوع دیافراگم را بررسی کن.
- سپس TIR را در هر طبقه و هر امتداد محاسبه کن.
- اگر TIR از حدود مجاز عبور کرد، پیچش اتفاقی را با ضوابط مربوطه تشدید و کنترل کن.
- در حالت شدید، محدودیت‌های ارتفاع، روش تحلیل و مجاز بودن سیستم را حتماً کنترل کن.

فلوچارت تشخیص و مواجهه با نامنظمی‌های پیچشی



ضوابط ویژه ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد

خلاصه ضوابط مهم بر پایه 150 صفحه اول استاندارد 2800 (ویرایش پنجم)



ارجاع به بندهای استاندارد 2800 (ویرایش پنجم): بندهای 1-1، 1-4، 1-6-1، 2-2، 2-8، 3-12-3، 4-1-4

① شناسایی ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد

گروه 1

دو دسته اصلی:

- ساختمان‌های ضروری: بیمارستان، آتش‌نشانی، آب‌رسانی، نیروگاه و برق‌رسانی حیاتی، برج مراقبت، مخابرات، مراکز امداد
- ساختمان‌های خطرزا: تأسیسات و ساختمان‌هایی که خرابی آن‌ها موجب انتشار گسترده مواد سمی یا مضر می‌شود

مرجع: بند 1-4

② هدف عملکردی و سطوح زلزله

زلزله طرح	حفظ قابلیت بهره‌برداری	
زلزله پیشینه موردنظر (MCE)	تأمین ایمنی جانی و احتمال فروریزش ناچیز	
زلزله بهره‌برداری	تداوم بهره‌برداری	

زلزله طرح = $2/3 \text{ MCE}$ ، زلزله بهره‌برداری = $1/9 \text{ MCE}$

مرجع: بندهای 1-1 و 1-2

③ ضریب اهمیت و گروه طراحی لرزه‌ای

$$I_e = 1.4$$

- تمام ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد در گروه طراحی لرزه‌ای SDC-3 قرار می‌گیرند
- نتیجه: طراحی و جزئیات لرزه‌ای با سطح سخت‌گیرانه‌تر

مرجع: جدول 1-1 و جدول 2-6

④ طیف ویژه ساختگاه و مطالعات ویژه

- استفاده از طیف ویژه ساختگاه برای ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد واقع در حوزه نزدیک گسل الزامی است
- در ساختمان‌های مشمول تحلیل دینامیکی، اگر روی زمین‌های غیر از نوع I تا III باشند نیز باید این موضوع بررسی شود
- در ساختگاه‌های خاص، مطالعات ویژه ساختگاه و گزارش فنی مستقل لازم است

مرجع: بندهای 2-8 و 2-8-1

⑤ پارامترهای ژئوتکنیکی ویژه

- برای این ساختمان‌ها، پارامترهای خاک برای تحلیل پاسخ ساختگاه حتی‌الامکان از آزمایش‌های مناسب به‌دست آید
- منحنی‌های $D-\gamma$ و $G/G_{max}-\gamma$ در محدوده کرنش‌های 10^{-6} تا 10^{-2} تعیین شوند
- آزمایش‌های متداول: المان خمشی، ستون تشدید، سه‌محوری، برش ساده تناوبی

مرجع: بند 2-8-5

⑥ درز انقطاع و تغییر مکان جانبی

- برای ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد، در هر تعداد طبقه، عرض درز انقطاع باید کنترل شود

$$w_{min} = \sqrt{\delta_{M,1}^2 + \delta_{M,2}^2}$$

$$\delta_M = \frac{C_d \times \delta_{eu}}{I_e}$$

- درز می‌تواند با مصالح کم‌مقاومت خردشونده پر شود

مرجع: بندهای 1-6-1 و 3-12-7

⑦ کنترل سازه در زلزله سطح بهره‌برداری

- کنترل برای این ساختمان‌ها الزامی است
- در سازه فولادی: تنش‌ها از مقاومت اسمی بدون ضرایب اطمینان تجاوز نکند
- در سازه بتن‌آرمه: تنش‌ها از مقاومت نهایی اسمی بدون ضریب کاهش مقاومت تجاوز نکند

$$V_{ser} = \frac{S_a \times I_e \times W}{6} , \quad R_u = 1$$

مرجع: بند 3-17-1 و 3-17-3

⑧ محدودیت دریافت بهره‌برداری و اجزای غیرسازه‌ای

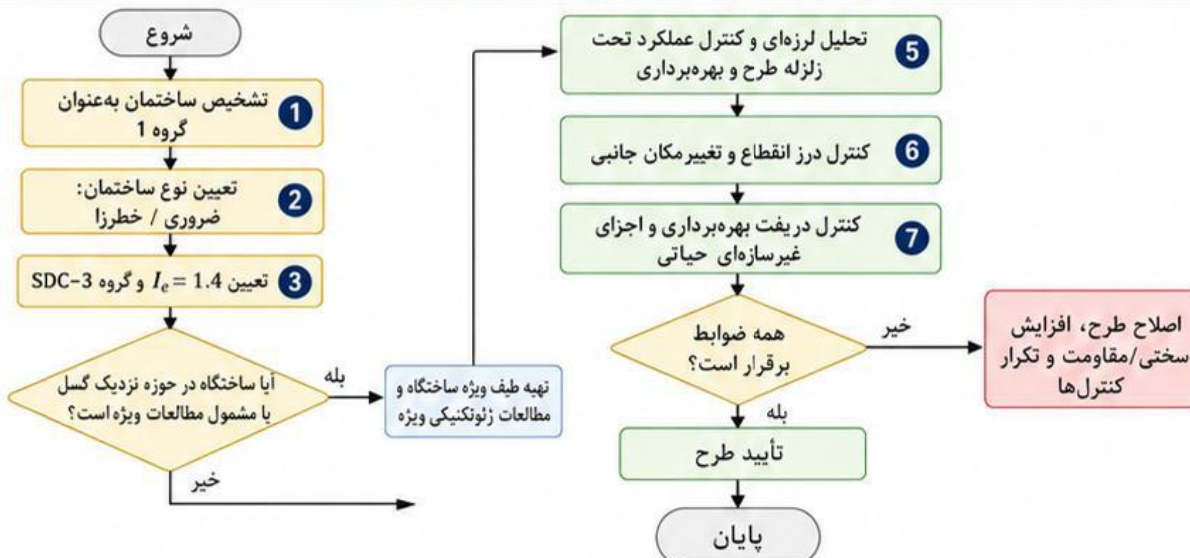
$$\Delta_{serv} \leq 0.005 h$$

در صورت تحمل بیشتر اجزای غیرسازه‌ای: تا $0.008 h$

- برای اجزای غیرسازه‌ای حیاتی یا دارای مواد خطرزا: ضریب اهمیت جزء $I_p = 1.4$
- نمونه‌ها: سامانه اطفای حریق، پلکان فرار، اجزای لازم برای خدمت‌رسانی بی‌وقفه

مرجع: بند 3-17-2 و 4-1-4

فلوچارت کنترل ضوابط ویژه ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد



شرایط و نکات استفاده از سیستم قاب ساختمانی

بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش پنجم - بند ۳-۴-۲، جدول ۱-۳ و یادداشت‌های [۱] تا [۳]

۱) تعریف و دامنه کاربرد

- بارهای قائم کف‌ها عمدتاً توسط قاب‌های فضایی تحمل می‌شود.
- مقاومت جانبی زلزله از طریق دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی‌شده تأمین می‌شود.
- قاب فضایی همراه با دیوار برشی بتن‌آرمه، اگر دیوارها سهم کمتری از بار قائم را تحمل کنند، در این گروه است.
- در دال تخت یا تیرچه‌بلوک با تیر هم‌ارتفاع یا کم‌ارتفاع، کل نیروی جانبی باید به دیوار برشی یا مهاربند سپرده شود.
- اگر سیستم مقاوم جانبی مهاربندی‌شده باشد، وجود تیر در دهانه‌های مهاربندی‌شده الزامی است.

۲) جدول انتخاب پارامترهای لرزه‌ای

سیستم مقاوم جانبی	Ru	Ω_0	Cd	SDC-1	SDC-2	SDC-3
دیوار برشی بتن‌آرمه همبند شکل‌پذیر [۱][۲]	6.5	2.5	6.5	50	50	50
دیوار برشی بتن‌آرمه ویژه [۳]	6	2.5	5	50	50	50
دیوار برشی بتن‌آرمه معمولی [۲]	4.5	2.5	4	15	10.5	غیرمجاز
دیوار برشی بتانی مسلح	4	2.5	3	15	10.5	10.5
قاب مهاربندی همگرای فولادی ویژه [۳]	6	2	5	50	50	50
قاب مهاربندی همگرای فولادی معمولی	3.5	2	3.5	15	10.5	غیرمجاز
قاب مهاربندی واگرای فولادی یا تیر پیوند برشی [۲]	6.5	2	4	50	50	50
قاب مهاربندی واگرای فولادی یا تیر پیوند خمشی/خمشی-برشی	6	2	4	50	50	40
قاب مهاربندی کماتش‌تاب [۳]	6.5	2.5	5	50	50	50
دیوار برشی فولادی ویژه	6	2	5.5	50	50	50
قاب مهاربندی همگرای مختلط ویژه	5	2	4.5	50	50	50
قاب مهاربندی واگرای مختلط	6.5	2.5	4	50	50	50
دیوار برشی مختلط ویژه	5.5	2.5	5	50	50	50

۳) یادداشت‌های جدول

- [۱] اگر سیستم از نوع دیوار برشی بتن‌آرمه همبند شکل‌پذیر باشد و ارتفاع ساختمان کمتر از ۱۸ متر باشد، پارامترها مشابه دیوار برشی بتن‌آرمه ویژه در نظر گرفته می‌شود.
- [۲] دیوار برشی بتن‌آرمه معمولی در SDC-2 باید بدون بارشو باشد، طول آن از ارتفاع طبقه کمتر نباشد و تنش قائم نقلی قابل انتظار از ۰.۱۵ تا ۰.۲۰ بیشتر نشود.

۴) افزایش ارتفاع مجاز [۳]

برای ردیف‌های دارای [۳]، H_m می‌تواند از ۵۰ به ۷۰ متر افزایش یابد، مشروط به سه کنترل زیر:

- ساختمان در گروه طراحی لرزه‌ای ۳ نباشد.
- نامنظمی پیچشی شدید در پلان وجود نداشته باشد.
- سهم برش سیستم مقاوم لرزه‌ای در هر امتداد و طبقه، بدون پیچش اتفاقی، بیش از ۴۰٪ برش کل طبقه نباشد.

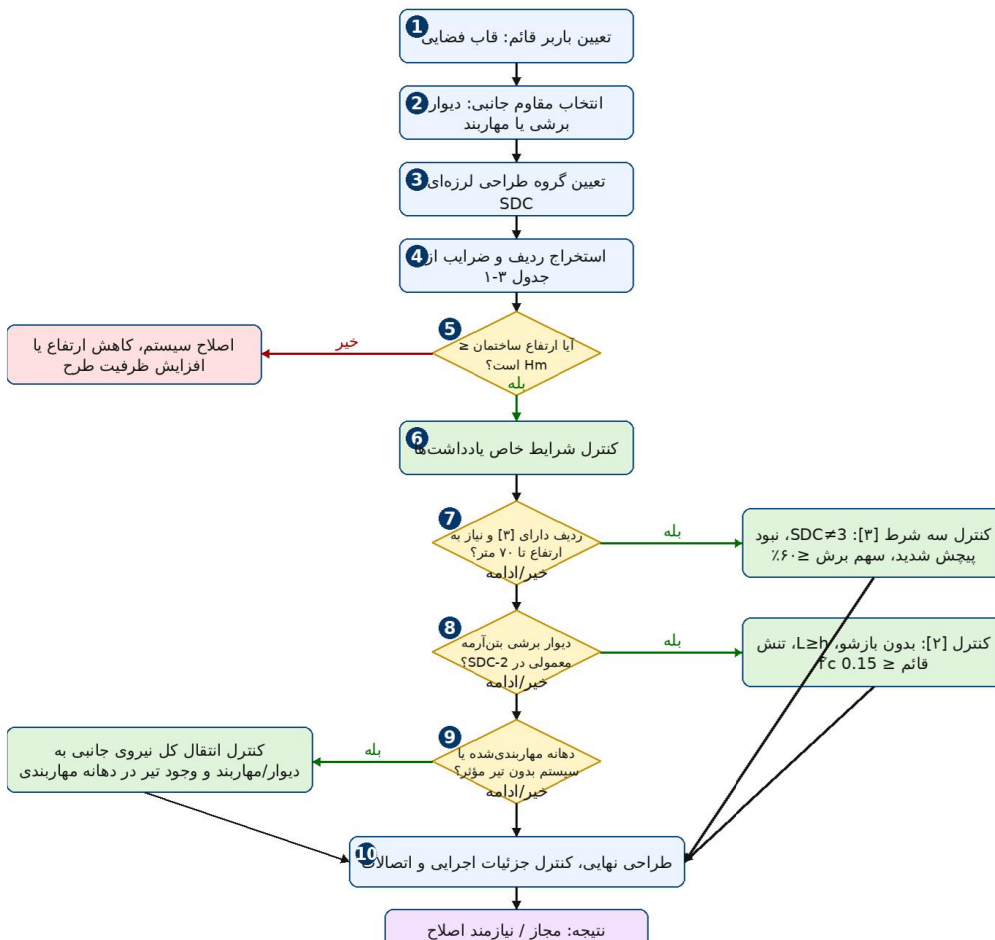
۵) کنترل‌های اصلی

- ردیف درست جدول بر اساس نوع دیوار برشی یا مهاربند انتخاب شود.
- H_m و R_u ، Ω_0 ، C_d قبل از نهایی کردن طرح کنترل شوند.
- در سیستم قاب ساختمانی، قاب فضایی نباید به عنوان قاب خمشی مقاوم جانبی فرض شود مگر ضوابط قاب خمشی را اجازت کند.
- ضوابط طراحی و جزئیات اجرایی مصالح متناظر رعایت شود.

۶) جمع‌بندی سریع

- سیستم قاب ساختمانی زمانی مناسب است که قاب فضایی بار قائم را بگیرد و دیوار برشی یا مهاربند، سیستم اصلی مقاومت جانبی باشد. کنترل‌های کلیدی: ردیف جدول، محدودیت ارتفاع H_m ، یادداشت‌های [۱] تا [۳] و جزئیات اجرایی.

فلوچارت انتخاب و کنترل سیستم قاب ساختمانی



انواع روش‌های تحلیل و انتخاب روش تحلیل مناسب

بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش پنجم — بندهای 3-8، 3-9، 3-10، 3-18 و پیوست ۲

نکته: انتخاب روش تحلیل جایگزین کنترل‌های طراحی نیست؛ پس از تحلیل، کنترل برش پایه، پیچش، دررفت، P-Delta و الزامات سیستم سازه‌ای باید انجام شود.

1 (۱) دسته‌بندی روش‌های تحلیل

- روش‌های خطی: استاتیکی معادل، دینامیکی طیفی، دینامیکی تاریخچه زمانی.
- روش‌های غیرخطی: تحلیل استاتیکی غیرخطی و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی.
- روش ساده‌شده: فقط برای ساختمان‌های کوتاه و دارای شرایط بند 3-18.
- روش‌های خطی را می‌توان در همه ساختمان‌ها به کار برد؛ محدودیت اصلی مربوط به مجاز بودن استاتیکی معادل است.

2 (۲) موارد مجاز روش استاتیکی معادل

- ساختمان حداکثر ۳ طبقه و ۱۰.۵ متر، بدون نامنظمی «طبقه خیلی نرم».
- ساختمان منظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از تراز پایه.
- ساختمان نامنظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر، بدون پیچش زیاد/شدید در پلان و بدون نامنظمی سختی، جرمی و هندسی در ارتفاع.
- ساختمان منظم با ارتفاع بیش از ۵۰ متر فقط وقتی زمان تناوب اصلی کمتر از ۳/۵ برابر T_s باشد.

3 (۳) مقایسه سریع روش‌ها

روش تحلیل	کاربرد معمول	نکات کنترلی
استاتیکی معادل	سازه‌های مشمول بند 3-8-3	برش پایه مساوی C ضریب W؛ توزیع نیرو در ارتفاع؛ لحاظ پیچش ذاتی و اتفاقی
دینامیکی طیفی	انتخاب عمومی برای سازه‌های بلندتر یا نامنظم	تعداد مود کافی؛ ترکیب SRSS یا CQC؛ اصلاح برش پایه و تغییرمکان
تاریخچه زمانی خطی	وقتی پاسخ زمانی و رکورد لازم است	حداقل ۳ زوج شتاب‌نگاشت مقیاس‌شده؛ اعمال به مدل سه‌بعدی
تحلیل غیرخطی	کنترل عملکرد یا موارد الزامی	در کنار آن تحلیل و طراحی خطی نیز لازم است؛ مطابق پیوست ۲
روش ساده‌شده	ساختمان‌های کوتاه با شرایط بند 3-18	کنترل دررفت لازم نیست؛ مناسب فقط برای شرایط محدود و مشخص

4 (۴) روش ساده‌شده؛ چک‌لیست اولیه

- کاربری مسکونی، اداری یا تجاری؛ زمین نوع II یا III.
- ساختمان در گروه طراحی لیزه‌ای ۳ نباشد.
- ارتفاع حداکثر ۱۰.۵ متر و حداکثر ۳ طبقه؛ نسبت طول به عرض پلان ≥ 3 .
- سیستم: دیوار باربر یا قاب ساختمانی؛ بدون تغییر سیستم در ارتفاع.
- بازشوهای دیافراگم هر طبقه $\geq 2\%$ و مقاومت جانی هر طبقه $\leq 80\%$ طبقه روی خود.

5 (۵) نکات تحلیل دینامیکی خطی

- در تحلیل طیفی، بازتاب مودها با روش‌های آماری مانند SRSS یا CQC ترکیب می‌شود.
- اگر برش پایه طیفی از برش پایه استاتیکی معادل کمتر شود، تالش‌ها و تغییرمکان‌ها باید اصلاح شوند.
- در تاریخچه زمانی خطی، شتاب‌نگاشت‌ها طبق فصل دوم انتخاب و مقیاس می‌شوند.
- برای روش تاریخچه زمانی، اثر پیچش ذاتی و اتفاقی مطابق بند 3-9-4 لحاظ می‌شود.

6 (۶) موارد الزام کنترل غیرخطی

- بیمارستان‌ها و مراکز اصلی عملیات امداد و نجات هنگام زلزله.
- ساختمان‌های بیش از ۳۰ طبقه یا بلندتر از ۱۲۰ متر از تراز پایه.
- ساختمان‌های بیش از ۱۵ طبقه یا بلندتر از ۵۰ متر با پیچش شدید یا طبقه خیلی نرم.
- نتیجه غیرخطی جایگزین طراحی خطی نمی‌شود؛ هر دو باید افعان شوند.

فلوجارت انتخاب روش تحلیل مناسب

